

УДК 621.771.011:621.9.048

СРЕДНЕЕ УДЕЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ПРОКАТКЕ С ПРОДОЛЬНЫМИ  
УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ВАЛКОВ

При прокатке полосы симметрично пучности смещений на валках, совершающих продольные противофазные ультразвуковые колебания, наряду с изменением направления вектора относительной скорости скольжения валков по поверхности полосы и обусловленного им снижения коэффициента трения происходит частичный или полный сдвиг металла по ширине очага деформации. В промежутки времени за период колебания, когда колебательная скорость  $V_k$  меньше скорости течения металла в уширение  $V_y$ , сдвиг наблюдается только на некотором участке очага деформации, а при  $V_k > V_y$  он происходит по всей ширине полосы.

Среднее удельное давление при обычной прокатке и линейной аппроксимации эпюры распределения удельных давлений по дуге захвата можно определить как

$$P_{ср.0} = \frac{P_{max} + \sigma_{\varphi}}{2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\varphi}$  - сопротивление деформации при линейном напряженном состоянии с учетом среднего по длине очага деформации упрочнения;

$P_{max}$  - максимальное удельное давление.

При прокатке тонких полос [1]

$$P_{max} = \sigma_{\varphi} \left( \frac{H}{h_N} \right)^{d-1} \quad (2)$$

где  $h_N = \sqrt[2d]{H^{d-1} h^{d+1}}$

- толщина полосы в плоскости действия максимального удельного давления;

$H$  и  $h$  - толщина полосы до и после прокатки соответственно;

$d = 2\mu \sqrt{\frac{R}{\Delta h}}$ ;  $\Delta h = H - h$ ;  $\mu$  - коэффициент трения;

$R$  - радиус валков.

Подставив значение (2) в (1), получим

$$P_{ср.0} = \frac{\sigma_{\varphi}}{2} \left[ \left( \frac{H}{h_N} \right)^{d-1} + 1 \right] \quad (3)$$

При прокатке со сдвигом по всей ширине очага деформации, т.е. когда  $V_k > V_y$ , удельное давление будет постоянным и равным [2]

$$P_{ср.2} = \frac{\sigma_{\phi}}{\sqrt{1 + 4M_n^2}} \quad (4)$$

где  $M_n$  - коэффициент трения поперек направления прокатки.

Среднее удельное давление на первой стадии процесса прокатки с ультразвуком, когда  $V_k < V_y$ , можно определить как

$$P_{ср.1} = \frac{P_{ср.0} + P_{ср.2}}{2} \quad (5)$$

После постановки в это уравнение значений из выражений (3) и (4) и преобразований получим

$$P_{ср.1} = \frac{\sigma_{\phi}}{2} \left[ \left( \frac{H}{h_n} \right)^{0.1} + \frac{2}{\sqrt{1 + 4M_n^2}} + 1 \right] \quad (6)$$

Среднее за период колебания удельное давление при прокатке тонкой полосы с продольными противофазными ультразвуковыми колебаниями валков в пучности смещений с учетом изменения только схемы напряженного состояния равно

$$P_{ср.у} = \frac{P_{ср.1} \cdot t_1 + P_{ср.2} (T - t_1)}{T} \quad ,$$

где  $T$  - период колебания;

$t_1$  - время протекания первой стадии прокатки.

Время  $t_1$  можно определить из условия, что  $V_k = V_y$ .

Так как

$$V_k = V_m \cdot \sin \omega t, \text{ то } t_1 = 2t = 2a \operatorname{arcc} \sin \frac{V_y}{V_m} \quad ,$$

где  $V_m = \frac{2\pi A}{T}$  - амплитуда колебательной скорости;

$A$  - амплитуда смещений в пучности колебаний;

$t$  - половина промежутка времени, когда  $V_k > V_y$ ,

$\omega$  - угловая частота.

#### Л и т е р а т у р а

И. целиков А.И., Грижков А.И. Теория прокатки. М., 1970. "Металлургия".

КИНЕМАТИКА ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ С КРУТИЛЬНЫМИ ПРОТИВОФАЗНЫМИ  
УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ВАЛКОВ

Прокатка полосы, помещенной в пучности колебаний крутильной ультразвуковой волны, отличается от обычной прокатки тем, что валки совершают переменные вращательные движения. Когда валки совершают противофазные ультразвуковые крутильные колебания, то их мгновенные окружные скорости соответственно равны:

$$V_1 = V_0 + V_m \cdot \cos \omega t \quad ;$$

$$V_2 = V_0 - V_m \cdot \cos \omega t \quad ,$$

где  $V_0$  - окружная скорость валков при обычной прокатке;  
 $V_m = \frac{2\pi A_k}{T}$  - амплитуда колебательной скорости;  
 $A_k$  - амплитуда крутильных колебаний поверхности бочки валка;  
 $T$  - период колебания;  
 $\omega$  - круговая частота;  
 $t$  - время.

Вследствие быстрого изменения колебательной скорости и противоположного ее направления на каждом из валков, последние будут скользить по поверхности полосы, что приведет к изменению положения нейтральных узлов и кинематики процесса по сравнению с обычной прокаткой. При этом наблюдается три стадии процесса прокатки: первая характеризуется смещением нейтрального сечения на валке, имеющем большую окружную скорость, к плоскости выхода металла из очага деформации; вторая - смещением нейтрального сечения к плоскости входа металла в очаг деформации на валке с меньшей окружной скоростью; третья характеризуется различным направлением сил трения на противолежащих контактных поверхностях.

Если  $\frac{V_m}{V_0} \leq S$ , где  $S$  - опережение, то наблюдается только первая стадия прокатки; при

$$S < \frac{V_m}{V_0} \leq \left(1 - \frac{1 + S}{\lambda \cos \alpha}\right),$$

где  $\lambda$  - продольная деформация или вытяжка,  
 $\alpha$  - угол захвата, имеет место первая и вторая стадии,  
 а при

$$\frac{V_m}{V_0} > \left(1 - \frac{1+S}{\lambda \cos \alpha}\right)$$

- все три стадии прокатки.

Степень снижения давления металла на валки при прокатке с противофазными крутильными ультразвуковыми колебаниями будет зависеть от продолжительности каждой из описанных выше стадий процесса прокатки. На третьей стадии процесса, когда силы трения на противолежащих контактных поверхностях направлены в противоположные стороны, т.е. их влияние нейтрализуется, они не будут оказывать подпирющего действия и снижение удельных давлений по сравнению с обычной прокаткой будет максимальным. Продолжительность третьей стадии, а соответственно и эффективность примененная ультразвука можно повысить путем увеличения колебательной скорости. Применение крутильных колебаний позволяет при одном и том же диаметре валков прокатного стана получать более тонкие полосы, причем эффективность ультразвука будет увеличиваться с уменьшением толщины прокатываемого металла.

Это подтверждается результатами экспериментальных исследований, приведенными в таблице I.

Т а б л и ц а I

Эффективность применения ультразвука при прокатке  
 полос различной толщины

Вид прокатки	Толщина полосы до прокатки $H$ , мм	Относительное обжатие $\epsilon$ , %	Давление металла на валки $P$ , кг	Степень снижения давления металла на валки, %
Без ультразвука	0,18	20	1800	47
С ультразвуком	0,18	20	950	
Без ультразвука	0,1	20	2400	79
С ультразвуком	0,1	20	500	

Данные получены при прокатке полос из стали 08 кп размером 0,18x20x120 и 0,1x20x120 на стане, валки которого диаметром 52 мм совершали противофазные крутильные ультразвуковые колебания. Ско-

рость прокатки была равна 0,065 м/сек, амплитуда крутильных колебаний поверхности бочек валков - 0,003+0,004 мм. Приведенные данные показывают целесообразность и перспективность применения прокатки с противофазными крутильными колебаниями валков для получения тонких полос.